



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 111977751 A

(43) 申请公布日 2020. 11. 24

(21) 申请号 202010897370.5 *C25B 1/00* (2006.01)

(22) 申请日 2020.08.31 *C25C 1/12* (2006.01)

(71) 申请人 温州大学 *C25C 1/08* (2006.01)

地址 325000 浙江省温州市瓯海区东方南 *C25C 1/10* (2006.01)

路38号温州市国家大学科技园孵化器 *C25C 1/16* (2006.01)

C25C 1/18 (2006.01)

(72) 发明人 黄先锋 陈聪 王贝贝 虞俊一 *C02F 101/20* (2006.01)

张恒 王奇 郑向勇 赵敏 *C02F 101/22* (2006.01)

(74) 专利代理机构 江苏瑞途律师事务所 32346

代理人 金龙 刘琦

(51) Int. Cl.

C02F 1/46 (2006.01)

C02F 1/461 (2006.01)

C02F 1/467 (2006.01)

C02F 1/72 (2006.01)

C02F 1/78 (2006.01)

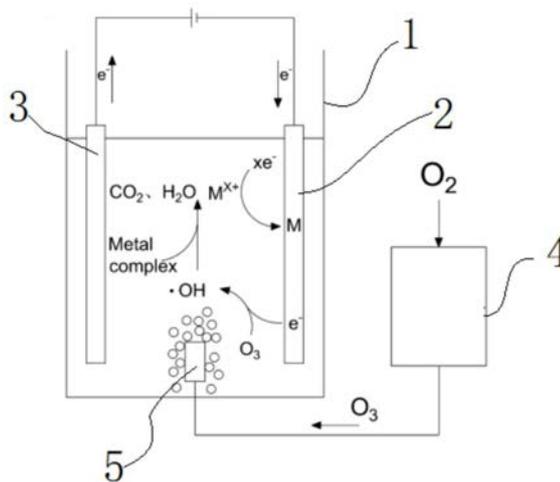
权利要求书1页 说明书6页 附图2页

(54) 发明名称

一种阴极电场强化臭氧氧化破络与金属同步回收装置及方法

(57) 摘要

本发明公开了一种阴极电场强化臭氧氧化破络与金属同步回收装置及方法,属于工业废水处理技术领域。本发明的阴极电场强化臭氧氧化破络与金属同步回收装置,包括反应池以及在反应池内竖向悬浮排列,并接通直流电的电化学阴极和电化学阳极,还包括在反应池底部设置的曝气机构以及反应池外设置的臭氧发生器;臭氧发生器通过气管与曝气机构相连通;反应池内为已调节pH值的络合重金属溶液或废水。通过接通直流电的电化学阴极和电化学阳极产生电化学反应,结合臭氧很强的亲电性,电化学阴极直接还原 O_3 产生 $O_3^{\cdot-}$,进而促进 $HO\cdot$ 的产生,强化产生的 $HO\cdot$ 可以有效实现对重金属络合物的高效降解并矿化,进而解决了现有的氧化技术 $HO\cdot$ 产率低的技术问题。



1. 一种阴极电场强化臭氧氧化破络与金属同步回收装置,其特征在於:包括反应池(1)以及在反应池(1)内竖向悬浮排列,并接通直流电的电化学阴极(2)和电化学阳极(3),还包括在反应池(1)底部设置的曝气机构(5)以及反应池(1)外设置的臭氧发生器(4);所述臭氧发生器(4)通过气管与曝气机构(5)相连通;所述反应池(1)内为已调节pH值的络合重金属溶液或废水。

2. 根据权利要求1所述的一种阴极电场强化臭氧氧化破络与金属同步回收装置,其特征在於:所述电化学阴极(2)由内层电极板(22)和分列其两侧的外侧碳基材料板(21)与内侧碳基材料板(23)紧密粘合而成。

3. 根据权利要求2所述的一种阴极电场强化臭氧氧化破络与金属同步回收装置,其特征在於:所述内层电极板(22)由以下元素中至少一种金属或其对应的氧化物构成:Cu、Pt、Ti、Al、Fe、Ru、Ir和Ni,其形状为穿孔的网状,网孔直径为0.5~10mm,孔隙度范围为10%~50%。

4. 根据权利要求3所述的一种阴极电场强化臭氧氧化破络与金属同步回收装置,其特征在於:所述外侧碳基材料板(21)和内侧碳基材料板(23)的厚度为0.5~5mm,其中的碳基材料为高导电率的空气扩散碳基材料,并均由以下材料中至少两种复合而成:石墨、炭黑、活性炭、乙炔黑、石墨毡、聚四氟乙烯碳和玻璃态碳。

5. 根据权利要求4所述的一种阴极电场强化臭氧氧化破络与金属同步回收装置,其特征在於:所述电化学阳极(3)为金属导电体,为实芯板或穿孔板状,包括不锈钢、铁、钛、钎、铌、镍、铜和铂的一种或几种复合金属。

6. 一种阴极电场强化臭氧氧化破络与金属同步回收方法,其特征在於:步骤为:

(1) 搅拌:将已调节pH的络合重金属溶液或废水加入反应池(1)中并搅拌;

(2) 曝气:向反应池(1)中曝入通过臭氧发生器(4)制得的 O_3/O_2 混合气,同时将电化学阴极(2)和电化学阳极(3)接通直流电,反应池(1)中阴极电场强化臭氧分解产生的强氧化性羟基自由基对金属络合物进行破络并逐步释放出重金属;

(3) 沉积:释放的重金属在电场作用下被电化学阴极(2)的网状电子还原沉积;

(4) 回收:反应结束后,通过酸洗电化学阴极(2)回收电沉积金属。

7. 根据权利要求6所述的一种阴极电场强化臭氧氧化破络与金属同步回收方法,其特征在於:步骤(1)中的pH调节范围为2-10,络合重金属溶液或废水中使用的络合剂为柠檬酸、酒石酸、草酸、乙二胺四乙酸(EDTA)、氨三乙酸(NTA)、二乙基三胺五乙酸(DTPA)和乙二胺二琥珀酸(EDDS)中一种或多种,所述重金属溶液或废水中的重金属为铜、镍、铬、锌、铅、钴或镉中的一种或几种。

8. 根据权利要求7所述的一种阴极电场强化臭氧氧化破络与金属同步回收方法,其特征在於:所述步骤(2)中曝入 O_3 气体浓度为2.0~30.4mg/L,气体流速为0.5~5L/min,所述步骤(2)中电流密度范围为5~100mA/cm²。

9. 根据权利要求7所述的一种阴极电场强化臭氧氧化破络与金属同步回收方法,其特征在於:所述步骤(2)中的处理时间为5~120min,所述步骤(1)中搅拌速度范围为0~2000rpm。

一种阴极电场强化臭氧氧化破络与金属同步回收装置及方法

技术领域

[0001] 本发明涉及工业废水处理技术领域,更具体地说是一种阴极电场强化臭氧氧化破络与金属同步回收装置及方法。

背景技术

[0002] EDTA、NTA、酒石酸和柠檬酸等有机络合剂广泛地应用于电镀、制革和表面处理等行业,使得这些行业排放的废水中的铜(Cu)、镍(Ni)、铬(Cr)等重金属以络合形态存在。相比于游离态重金属,这些络合态重金属稳定性增强、水溶性增加,难以被传统的化学、沉淀混凝、吸附等方法有效去除。

[0003] 目前络合态重金属主要通过先破络而后沉淀的方法去除,其中高级氧化法(AOPs)因氧化能力强、反应速率快、操作简单而成为常用的破络方法,主要包括Fenton氧化法、UV/H₂O₂、光催化氧化法、电化学氧化法和光电催化氧化等。然而以上方法的应用往往受限于处理效率、氧化剂存储运输风险、催化材料活性、二次污染等问题等因素限制。例如,Fenton利用可溶性铁离子与H₂O₂相互作用产生的羟基自由基(HO·)降解金属有机络合物,但存在H₂O₂的储存与运输风险高、处理效率依赖于酸性pH(2.0-4.0)、大量铁泥的产生等问题。通常,有机配体的脱羧矿化是实现络合态重金属有效破络的前提。上述AOPs因羟基自由基产生效率较低而无法实现对有机配体的高效矿化。而且,在后续沉淀过程产生了大量危废污泥,其处理处置成本极高,并造成资源难以回收。因此,提高羟基自由基产率并同时回收金属以减少危废污泥的产生是实现络合态重金属高效绿色处理的关键。

[0004] 目前臭氧在水处理中已广泛应用于饮用水净化消毒与污(废)水去污。臭氧氧化过程包括臭氧直接氧化作用与间接氧化作用。臭氧直接氧化反应速度较慢且具有较强的选择性,易攻击双键、氨基等富含电子的官能团,但对络合物降解能力有限。例如,臭氧与EDTA、NTA等配体的反应较快,但与被Cu、Ni等重金属络合后的EDTA、NTA等配体的反应很慢,且与配体降解形成的小分子羧酸产物的反应活性很低。显然,使用单独臭氧处理络合态重金属时破络效果较差,需要通过其它途径促进臭氧的间接氧化作用来提高氧化效率。

[0005] 经检索,中国专利申请号:2015109262019,申请公布日:2016.04.20的专利,公开了一种强化臭氧破络与同步去除重金属的方法,属于废水处理技术领域。该发明的一种自强化臭氧破络与同步去除重金属的方法,步骤一、将调好pH含有重金属A和络合剂B的重金属络合废水加入臭氧接触池中,通过臭氧接触池底部的微孔连续通入臭氧,辅助水力循环搅拌确保反应均匀;步骤二、待臭氧氧化反应结束后,用微孔滤膜装置过滤进行固液分离,实现同步破络和去除重金属。该发明可以经济高效、操作简便、易实现工程化应用,而且破络和金属离子去除同步进行,基于自强化臭氧氧化去除废水中重金属络合物,但没有解决破络效果和氧化效率较差的问题。

发明内容

[0006] 1.发明要解决的技术问题

[0007] 针对现有技术中高级氧化技术HO·产率低,难以回收金属、易产生污泥造成二次污染的问题,本发明设计了一种阴极电场强化臭氧氧化破络与金属同步回收装置及方法。通过充分利用臭氧属亲电试剂的属性,结合电化学阴极和电化学阳极实现电化学过程提供电子的有效手段,其与臭氧联用可通过阴极电子直接还原O₃产生O₃^{·-},进而促进HO·的产生,强化产生的HO·能够有效提高对重金属络合物高效降解并矿化。

[0008] 2.技术方案

[0009] 本方案的技术原理为:臭氧属亲电试剂,具有很强的亲电性,可通过富电子物质或材料提供电子来活化臭氧分解产HO·,如酚类、胺类等富电子化合物,活性炭、二氧化钛等催化剂。电化学过程是提供电子的有效手段,其与臭氧联用可通过阴极电子直接还原O₃产生O₃^{·-},进而促进HO·的产生。这一组合过程强化产生的HO·则有望实现对重金属络合物高效降解并矿化,同时在电场和阴极表面电子的作用下,破络释放出金属可沉积于阴极材料上,进而实现对金属的回收利用。

[0010] 为达到上述目的,本发明提供的技术方案为:

[0011] 一种阴极电场强化臭氧氧化破络与金属同步回收装置,包括反应池以及在反应池内竖向悬浮排列,并接通直流电的电化学阴极和电化学阳极,还包括在反应池底部设置的曝气机构以及反应池外设置的臭氧发生器;所述臭氧发生器通过气管与曝气机构相连通;所述反应池内为已调节pH值的络合重金属溶液或废水。通过接通直流电的电化学阴极和电化学阳极产生电化学过程,结合臭氧很强的亲电性,电化学阴极直接还原O₃产生O₃^{·-},进而促进HO·的产生,这一组合过程强化产生的HO·可以有效实现对重金属络合物的高效降解并矿化,进而解决了现有的高级氧化技术HO·产率低的技术问题。

[0012] 进一步的技术方案,电化学阴极由内层电极板和分列其两侧的外侧碳基材料板与内侧碳基材料板紧密粘合而成,有利于阴极表面电子与O₃相互作用产HO·和金属离子在其表面上沉积。

[0013] 进一步的技术方案,内层电极板由以下元素中至少一种金属或其对应的氧化物构成:Cu、Pt、Ti、Al、Fe、Ru、Ir和Ni,其形状为穿孔的网状,网孔直径为1~20mm,孔隙度范围为10%~50%,有利于液体与电极网板的接触,进而提高降解效率和金属回收率。

[0014] 进一步的技术方案,外侧碳基材料板和内侧碳基材料板的厚度为0.5~5mm,其中的碳基材料为高导电率的空气扩散碳基材料,并均由以下材料中至少两种复合而成:石墨、炭黑、活性炭、乙炔黑、石墨毡、聚四氟乙烯碳和玻璃态碳。

[0015] 进一步的技术方案,电化学阳极为金属导体,为实芯板或穿孔板状,包括不锈钢、铁、钛、钎、铌、镍、铜和铂的一种或几种复合金属。

[0016] 一种阴极电场强化臭氧氧化破络与金属同步回收方法,步骤为:

[0017] (1) 搅拌:将已调节pH的络合重金属溶液或废水加入反应池中并搅拌;

[0018] (2) 曝气:向反应池中曝入通过臭氧发生器制得的O₃/O₂混合气,同时将电化学阴极和电化学阳极接通直流电,反应池中阴极电场强化臭氧分解产生的强氧化性羟基自由基对金属络合物进行破络并逐步释放出重金属;

[0019] (3) 沉积:释放的重金属在电场作用下被电化学阴极的网状电子还原沉积;

[0020] (4) 回收:反应结束后,通过酸洗电化学阴极回收电沉积金属。

[0021] 进一步的回收方法,步骤中的pH调节范围为2-10,络合重金属溶液或废水中使用

的络合剂为柠檬酸、酒石酸、草酸、乙二胺四乙酸(EDTA)、氨三乙酸(NTA)、二乙基三胺五乙酸(DTPA)和乙二胺二琥珀酸(EDDS)中一种或多种,所述重金属溶液或废水中的重金属为电镀行业常见金属如铜、镍、铬、锌、铅、钴或镉中的一种或几种。

[0022] 进一步的回收方法,步骤中曝入 O_3 气体浓度为 $2.0\sim 30.4\text{mg/L}$,气体流速为 $0.5\sim 5\text{L/min}$,所述步骤中电流密度范围为 $5\sim 100\text{mA/cm}^2$ 。

[0023] 进一步的回收方法,步骤中的处理时间为 $5\sim 120\text{min}$,所述步骤中搅拌速度范围为 $0\sim 2000\text{rpm}$ 。

[0024] 3.有益效果

[0025] 采用本发明提供的技术方案,与现有技术相比,具有如下有益效果:

[0026] (1)本发明的一种阴极电场强化臭氧氧化破络与金属同步回收装置及方法,应用范围广,可处理电镀、制革、印染等行业排放的重金属络合废水;经本技术方案处理后,TOC去除率可达到 $70\%\sim 80\%$,金属回收率可达到 $70\%\sim 90\%$,工业废水出水水质可达到GB18918-2002一级A标准;

[0027] (2)本发明的一种阴极电场强化臭氧氧化破络与金属同步回收装置及方法,可高效产生羟基自由基,进而对重金属络合物破络合,最终有机物矿化,同时金属回收至阴极材料上,达到破络和回收金属同步进行,从而简化了工艺,便于操作,且经济有效;

[0028] (3)本发明的一种阴极电场强化臭氧氧化破络与金属同步回收装置及方法,采用化学浸出沉积在电极上的金属,分离彻底,浸出的金属溶液可用于电镀等行业,实现金属回收利用;

[0029] (4)本发明的一种阴极电场强化臭氧氧化破络与金属同步回收装置及方法,可应用于各种pH范围的重金属废水、无需添加其他药剂、无污泥产生、处理成本低和操作简单等优点。

附图说明

[0030] 图1为本发明的阴极电场强化臭氧氧化破络与金属同步回收装置技术方案原理图;

[0031] 图2为本发明的电化学阴极结构示意图;

[0032] 图3为本发明的处理部分金属络合物时对应金属回收效果图;

[0033] 图4为本发明处理部分金属络合物时对应TOC矿化效果图。

[0034] 图中:1-反应池;2-电化学阴极;3-电化学阳极;4-臭氧发生器;5-曝气机构;21-外侧碳基材料板;22-内层电极板;23-内侧碳基材料板。

具体实施方式

[0035] 为进一步了解本发明的内容,结合附图对本发明作详细描述。

[0036] 实施例1

[0037] 本实施例的阴极电场强化臭氧氧化破络与金属同步回收装置,如图1所示,包括反应池1以及在反应池1内竖向悬浮排列,并接通直流电的电化学阴极2和电化学阳极3,还包括在反应池1底部设置的曝气机构5以及反应池1外设置的臭氧发生器4;所述臭氧发生器4通过气管与曝气机构5相连通。电化学阴极2由内层电极板22和分列其两侧的外侧碳基材料

板21与内侧碳基材料板23紧密粘合而成,有利于阴极表面电子与 O_3 相互作用产 $HO \cdot$ 和金属离子在其表面上沉积。内层电极板22形状为穿孔的网状,网孔直径为1~20mm,孔隙度范围为10%~50%,过小或过大影响处理效果或增加处理能耗。本实施例中网孔径为3mm,孔隙度为45%;电化学阳极3为金属导电体,为实芯板或穿孔板状,包括不锈钢、铁、钛、钎、铌、镍、铜和铂的一种或几种复合金属;本实施中选取材料为 TiO_2 ,电化学阴极2中,外侧碳基材料板21和内侧碳基材料板23的厚度为0.5~5mm,其中的碳基材料为高导电率的空气扩散碳基材料,并均由以下材料中至少两种复合而成:石墨、炭黑、活性炭、乙炔黑、石墨毡、聚四氟乙烯碳和玻璃态碳,在本实施例中选取为复合石墨毡/炭黑。

[0038] 本实施例的回收装置的技术原理是:氧气或空气经过臭氧发生器4产生臭氧气体,臭氧通过曝气机构5以气泡形式进入反应池1。随后电化学阴极2表面电子强化臭氧还原羟基自由基,进而对金属络合物破络的同时释放金属离子。随后游离态的金属离子在电场的作用下,转移至阴极被电还原沉积在材料上。进而实现强化臭氧分解产羟基自由基,达到破络与金属回收同步进行的目的。

[0039] 本发明实施例提供的阴极电场强化臭氧氧化破络与金属同步回收装置及方法的电化学阴极结构示意图如图2所示,以下将对该结构做进一步解释:

[0040] A、阴极外侧材料板21和内侧材料板23由至少两种材料复合组成,为高导电率的空气扩散碳基材料,比如石墨、炭黑、活性炭、乙炔黑、石墨毡、聚四氟乙烯碳和玻璃态碳。多空质状的复合石墨毡/炭黑材料的高导电率,能够传递更多表面电子,强化臭氧分解产羟基自由基,此外复合材料还具有较高的比表面积和孔隙率,可有效提高金属的回收效率。

[0041] B、内层电极板22电极板由以下元素中至少一种金属或其对应的氧化物构成:Cu、Pt、Ti、Al、Fe、Ru、Ir和Ni,本实施例中选择为 TiO_2 ,即整个电化学阴极2为石墨毡-炭黑/ TiO_2 结构,电化学阳极3为金属导电体,为实芯板或穿孔板状,包括不锈钢、铁、钛、钎、铌、镍、铜和铂的一种或几种复合金属,本实施例选择为镀钎钛,平均孔径为3mm,孔隙度为45%。

[0042] 在本发明中,络合重金属溶液或废水中使用的络合剂为柠檬酸、酒石酸、草酸、乙二胺四乙酸(EDTA)、氨三乙酸(NTA)、二乙基三胺五乙酸(DTPA)和乙二胺二琥珀酸(EDDS)中一种或多种,所述重金属溶液或废水中的重金属为铜、镍、铬、锌、铅、钴或镉中的一种或几种。

[0043] 本实施例的阴极电场强化臭氧氧化破络与金属同步回收方法,步骤为:

[0044] 1、搅拌:将已调节pH范围为2-10的络合重金属溶液或废水加入反应池1中并搅拌;本实施例中,选取1L电镀、制革、印染行业中常见的金属(Cu、Ni、Cr和Zn)与常见络合剂(EDTA)络合成金属络合物作为模拟废水。其中 $Cu^{2+}:Ni^{2+}:Cr^{3+}:Zn^{2+}:EDTA$ 为1:1:1:1:1,EDTA的浓度为0.2mmol/L,pH调节为6;搅拌速度范围为0~2000rpm,本实施例中为1200rpm;

[0045] 2、曝气:向反应池1中曝入通过臭氧发生器4制得的 O_3/O_2 混合气,曝入 O_3 气体浓度为2.0~30.4mg/L,本实施例中为7.4mg/L,气体流速为0.5~5L/min,过小或过大影响处理效果或增加处理能耗;同时将电化学阴极2和电化学阳极3接通直流电,电流密度控制范围为5~100mA/cm²,本实施例中为16mA/cm²;反应池1中阴极电场强化臭氧分解产生的强氧化性羟基自由基对金属络合物进行破络并逐步释放出重金属;处理时间为5~120min,本实施例中为120min;

[0046] 3、沉积:释放的重金属在电场作用下被电化学阴极2的网状电子还原沉积;

[0047] 4、回收：反应结束后，通过酸洗电化学阴极2回收电沉积金属。

[0048] 本实施例中，反应结束后通过阴极电场强化臭氧氧化破络与金属同步回收装置对Cu⁻、Ni⁻、Cr⁻和Zn-EDTA处理效果的比较：

[0049] 如图3所示，在反应120min内对Cu(II)-EDTA、Ni(II)-、Cr(III)-和Zn(II)-EDTA的金属回收率均达到80%以上的良好处理效果。同时，如图4所示，四种EDTA络合物的TOC去除率均在80%左右。

[0050] 实施例2

[0051] 本实施例的阴极电场强化臭氧氧化破络与金属同步回收装置及回收方法同实施例1，不同之处在于：本实施案例1L废水中，Cu²⁺:EDTA的摩尔比为1:1，Cu²⁺的浓度为0.2mmol/L，硫酸钠为0.5mmol/L。将溶液初始pH调整为6，电流密度控制在16mA/cm²，臭氧7.4mg/L，电化学阳极3材料为TiO₂，电化学阴极2为复合石墨毡-炭黑/TiO₂结构；辅助水力搅拌处理90min后将电极材料浸入硝酸溶液。

[0052] 经检测，本实施案例TOC去除率达到76%，Cu回收率达到88%。

[0053] 实施例3

[0054] 本实施例的阴极电场强化臭氧氧化破络与金属同步回收装置及方法，基本结构同实施例1，不同和改进之处在于：Cr³⁺:EDTA的摩尔比为1:2，Cr³⁺的浓度为0.3mmol/L，pH调整为3.5，电化学阳极材料3为活性炭纤维/Pt，电化学阴极2为复合活性炭纤维-活性炭/TiO₂结构。经检测，本实施案例TOC去除率达到79.5%，Cr回收率达到82%。

[0055] 实施例4

[0056] 本实施例的阴极电场强化臭氧氧化破络与金属同步回收装置及方法，基本结构与步骤同实施例1，不同和改进之处在于：Ni²⁺:EDTA的摩尔比为5:1，Ni²⁺的浓度为0.45mmol/L，电化学阳极3材料为镀钌铱电极，电化学阴2极为复合炭黑-聚四氟乙烯碳/镀钌铱，电流密度控制在20mA/cm²。经检测，本实施案例TOC去除率达到81%，Ni回收率达到85%。

[0057] 实施例5

[0058] 本实施例的阴极电场强化臭氧氧化破络与金属同步回收装置及方法，基本结构与步骤同实施例1，不同和改进之处在于：Pb²⁺:EDDS的摩尔比为2:1，Pb²⁺的浓度为0.5mmol/L，臭氧浓度控制在12.4mg/L。经检测，本实施案例TOC去除率达到76.4%，Pb回收率达到87%。

[0059] 实施例6

[0060] 本实施例的阴极电场强化臭氧氧化破络与金属同步回收装置及方法，基本结构与步骤同实施例1，不同和改进之处在于：Cu:酒石酸:柠檬酸NTA的摩尔比为3:1:1:1，Cu²⁺的浓度为1mmol/L，臭氧浓度控制在10mg/L，电流密度控制在24mA/cm²。经检测，本实施案例TOC去除率达到72.1%，Cu回收率达到82%。

[0061] 实施例7

[0062] 本实施例的阴极电场强化臭氧氧化破络与金属同步回收装置及方法，基本结构与步骤同实施例1，不同和改进之处在于：Zn²⁺:Co²⁺:Cd²⁺:DTPA的摩尔比为1:1:1:1，浓度均为0.3mmol/L，pH调整为3.5，反应120min。经检测，本实施案例TOC去除率达到68.7%，Zn²⁺、Co²⁺、Cd²⁺的去除率达到85%以上。

[0063] 实施例8

[0064] 本实施例的阴极电场强化臭氧氧化破络与金属同步回收装置及方法，基本结构与

步骤同实施例1,不同和改进之处在于,处理某印刷电路板废水,其基本水质参数:pH为3.2,初始铜浓度为74.5mg/L,TOC为163mg/L。按照本发明的步骤进行反应,电流密度控制在 $16\text{mA}/\text{cm}^2$,臭氧7.4mg/L,电化学阳极3材料为 TiO_2 ,电化学阴极2为复合石墨毡-炭黑/ TiO_2 ,反应120min后。最终铜回收率达到89%,TOC去除率达到了69%。

[0065] 实施例9

[0066] 本实施例的阴极电场强化臭氧氧化破络与金属同步回收装置及方法,基本结构与步骤同实施例1,不同和改进之处在于,其基本水质参数pH为3.6,初始铬浓度为23.4mg/L,TOC为48mg/L。按照本发明的步骤进行反应,电流密度控制在 $16\text{mA}/\text{cm}^2$,臭氧7.4mg/L,电化学阳极3材料为活性炭纤维/Pt,电化学阴极2为复合活性炭纤维-活性炭/ TiO_2 ,反应120min后。最终铬回收率达到90%,TOC去除率达到了73%。

[0067] 实施例10

[0068] 本实施例的阴极电场强化臭氧氧化破络与金属同步回收装置及方法,基本结构与步骤同实施例1,不同和改进之处在于,处理某电镀工业园区废水,其基本水质参数pH为4.1,初始铜浓度为105mg/L,镍浓度为12.3mg/L,TOC为156mg/L。按照本发明的步骤进行反应,电流密度控制在 $20\text{mA}/\text{cm}^2$,臭氧10mg/L,电化学阳极3材料为活性炭纤维/Pt,电化学阴极2为复合活性炭纤维-活性炭/ TiO_2 ,反应120min铜、镍回收率均达到90%以上,TOC去除率达65%。

[0069] 以上示意性的对本发明及其实施方式进行了描述,该描述没有限制性,附图所示的也只是本发明的实施方式之一,实际的结构并不局限于此。所以,如果本领域的普通技术人员受其启示,在不脱离本发明创造宗旨的情况下,不经创造性的设计出与该技术方案相似的结构方式及实施例,均应属于本发明的保护范围。

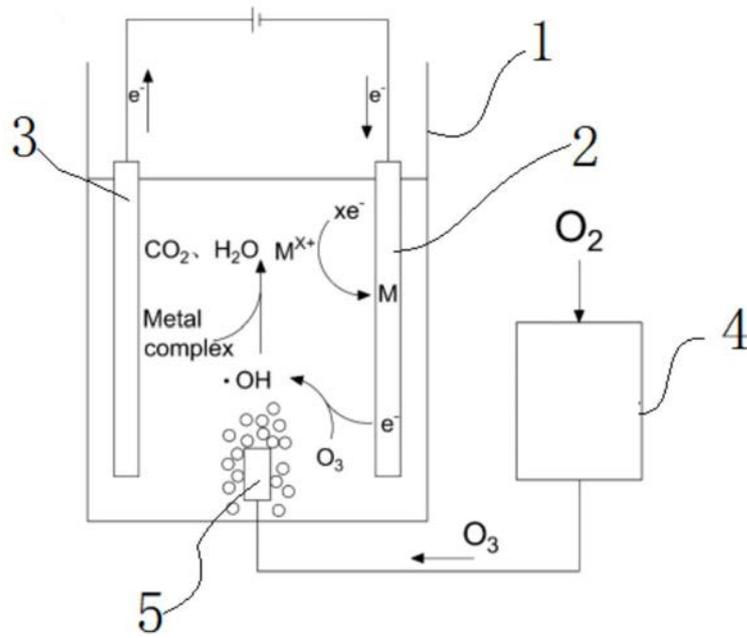


图1

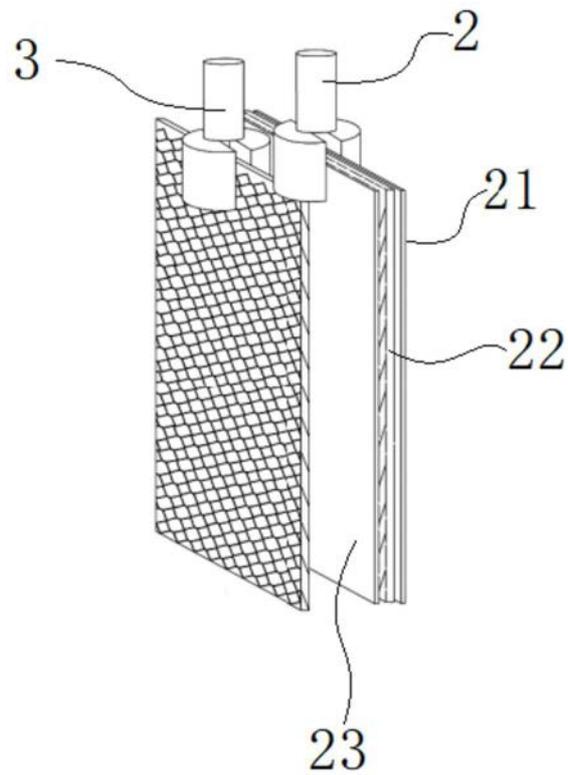


图2

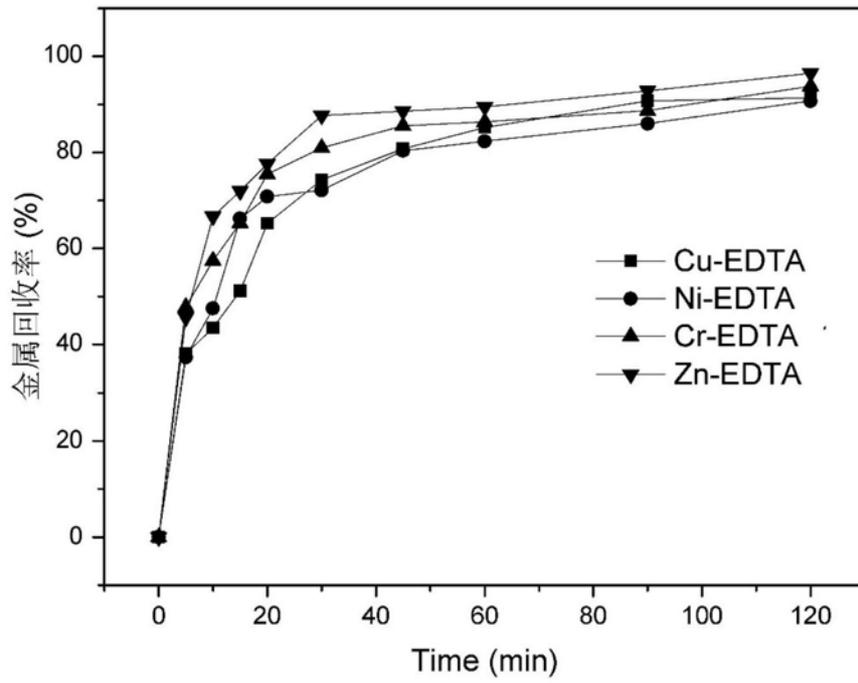


图3

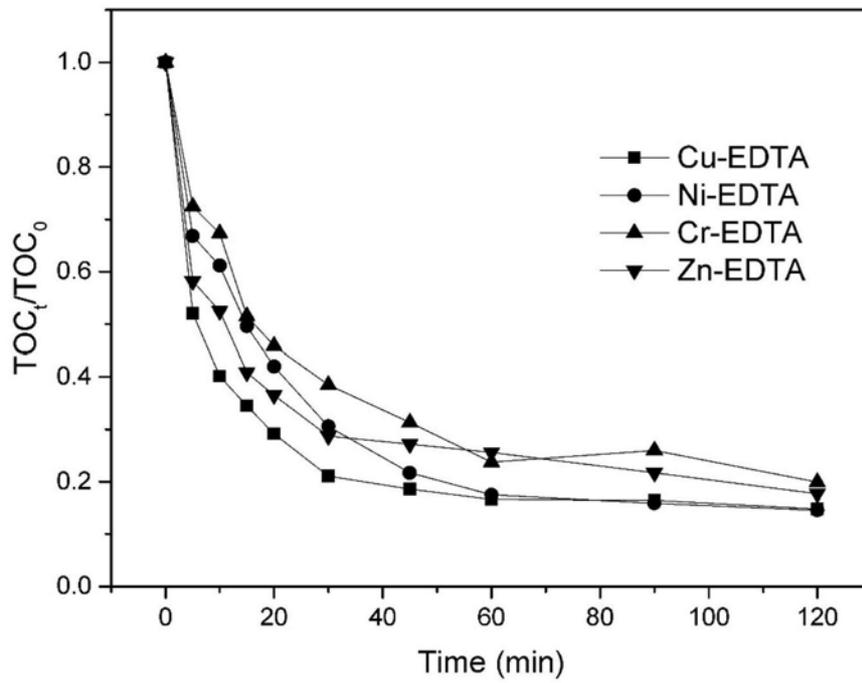


图4